

ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ УРАНА

Переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) является одной из важнейших задач современной радиохимической промышленности. На заводе РТ-1 ПО «Маяк» для переработки ОЯТ используются производственные цепочки, реализующие пюрекс-процесс [1] (англ. *PUREX – Plutonium Uranium Extraction*), в котором переработка ОЯТ осуществляется в плутониево-урановом экстракционном цикле. Товарным продуктом урановой ветви переработки ОЯТ является плав гексогидрата уранилнитрата, который получают упариванием азотнокислых растворов урана, поступающих с экстракционного цикла.

Качество и радиационная безопасность товарного продукта существенным образом зависят от равномерности распределения концентрации компонент в растворе, подающимся на упаривание. Подготовка раствора к упариванию осуществляется с помощью струйного перемешивания в емкостях с рабочим объемом 256 м³ (рис. 1).

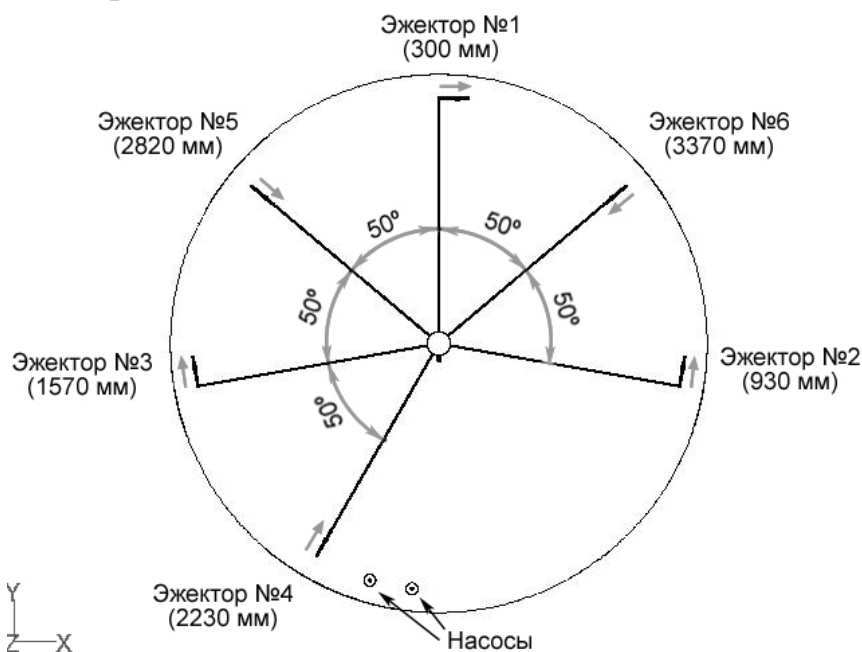


Рис. 1. Схема расположения эжекторов системы струйного перемешивания.

Стрелками показаны направления формируемые эжекторами струй, в скобках указаны уровни осей выходных патрубков эжекторов относительно дна емкостей

Продолжительность перемешивания при подготовке растворов к упариванию на РТ-1 составляет до 30 часов и более. При этом качество усреднения

физико-химических свойств после перемешивания часто не в полной мере удовлетворяет требованиям последующего технологического передела. Причиной этого может являться наличие застойных зон в емкостях.

Исследование гидродинамики перемешивания классическими инженерными методами затруднительно по причине низкой масштабируемости процессов перемешивания, большого объема емкостей и радиоактивности технологических растворов. В связи с этим, исследования производились с помощью методов и средств вычислительной гидродинамики.

Разработана физико-математическая модель, основанная на уравнениях Навье-Стокса в многофазной постановке с осреднением гидродинамических параметров по объемным долям фаз (*mixture model* [2]), стандартной k - ϵ модели турбулентных пульсаций [3] и неявных моделях погружных насосов [4]. Выполнена проверка адекватности разработанной физико-математической модели методом натурного эксперимента [4]. Установлено, что ошибка моделирования составляет не более 12 %.

Установлено, что между эжекторами № 2 и 4 (рис. 1) расположена застойная зона, в вертикальном направлении распространяющаяся на всю высоту емкости, и занимающая до трети площади радиального сечения емкости на различных уровнях от дна, после 30 ч перемешивания неусредненность контрольного компонента в емкости составляет 15 %. Кроме того, установлено, что гидравлическое сопротивление существующих эжекторов составляет 686 кПа, при этом гидравлическое сопротивление коллекторов и подводящих трубопроводов эжекторов составляет 246 кПа. Высокое гидравлическое сопротивление эжекторов обусловлено зауженностью проходных сечений их камер смешения.

В результате анализа результатов численного моделирования отмечены некоторые пути повышения эффективности перемешивания в емкостях, связанные с интенсификацией струйного перемешивания в емкости и организацией в емкости дополнительного механического перемешивания.

Установлено, что увеличение проходных диаметров камеры смешения эжекторов приводит к снижению гидравлического сопротивления до 219 кПа. Снижение гидравлического сопротивления эжекторов приводит к изменению рабочей точки насоса и увеличению подачи с 10 до 14 м³/ч. Показано, что установка двухъярусного осевого механического перемешивающего устройства в центре застойной зоны между эжекторами № 2 и 4 приводит к формированию в данной области устойчивого течения с восходящим потоком вдоль оси вала мешалки и нисходящим потоком за пределами зоны активного перемешивания.

В результате принятых мер через 15–20 ч перемешивания неусредненность объемной доли контрольного компонента в емкости составляет около 1 %. Через 30 ч перемешивания – около 0,5 % (рис. 2). Организация дополнительного механического перемешивания приводит к увеличению затрат электрической мощности на перемешивание на 2 кВт, однако, в результате общего сокращения продолжительности перемешивания и снижения гидравлического сопротивления эжекторов, удельные затраты электроэнергии на 1 м³ технологического раствора сокращаются на 17 % – с 1,41 кВт·ч до 1,17 кВт·ч.

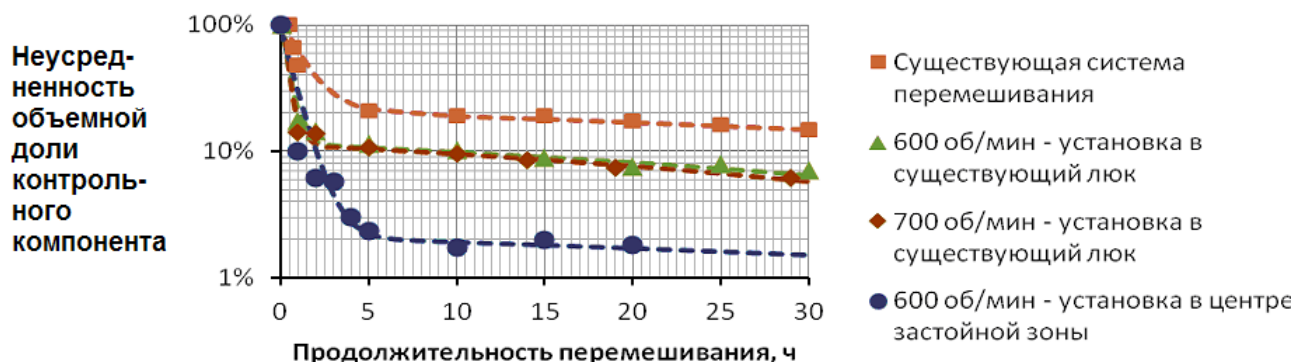


Рис. 2. Снижение неусредненности объемной доли контрольного компонента в емкостях с дополнительным механическим перемешиванием

Список литературы

1. Скачек М. А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС : учебное пособие для вузов / М. : ИД МЭИ, 2007. 448 с.
2. Manninen M., Taivassalo V. On the Mixture Model for Multiphase Flow / Espoo : Technical Research Center of Finland, VTT Publications, 1996. 67 p.
3. Авраменко М. И. О к-ε модели турбулентности / 2-е изд., перераб. и дополн. Снежинск : изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2010. 102 с.
4. Морданов С. В., Хомяков А. П., Никулин В. А. Экспериментальная проверка адекватности численной модели струйного перемешивания // IV информационная школа молодого ученого : сб. научных трудов. Екатеринбург : УрО РАН, 2014. С. 242–252.

УДК 621.694.2

Мурманский И. Б., Аронсон К. Э.
Уральский федеральный университет
ilyam@gmail.ru

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ ДЛЯ НОВЫХ ТУРБИН ПГУ

В последние годы развитие энергетической отрасли становится приоритетным направлением в России. Это связано с увеличением генерирующих тепловых и электрических мощностей, а также с необходимостью замены устаревшего оборудования электрических станций. Одновременно с ремонтом и заменой оборудования на существующих электростанциях происходит строительство новых электрических станций и ввод в эксплуатацию новых мощностей.

При проектировании новых паровых турбин перед заводами-изготовителями встает ряд вопросов по разработке нового вспомогательного оборудования. В частности, для паровых турбин мощностью до 80 МВт Уральского турбинного завода в составе ПГУ необходимы воздушные насосы (эжекторы), обеспечивающие функционирование конденсационных установок паровых турбин с минимальными затратами на собственные нужды. Существующие